



УДК 621.313.3

**ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДА  
ТЕЛЕЖКИ МОСТОВОГО КРАНА****IMITATION MODEL OF THE ELECTRIC  
TROLLEY OVERHEAD CRANE**

**Бухлаков Андрей Михайлович**, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: bukhlaakov@mail.ru. Тел.: +7(343)375-46-46

**Гилев Сергей Евгеньевич**, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: ser05ser05@rambler.ru. Тел.: +7(343)375-46-46

**Зюзов Анатолий Михайлович**, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.m.zyuzev@urfu.ru. Тел.: +7(343)375-46-46

**Andrew M. Buchlakov**, Master student, Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: bukhlaakov@mail.ru. Ph.: +7(343)375-46-46

**Sergey E. Gilev**, Master student, Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: ser05ser05@rambler.ru. Ph.: +7(343)375-46-46

**Anatoly M. Zyuzev**, Doctor Sc., Prof., Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.m.zyuzev@urfu.ru. Ph.: +7(343)375-46-46

**Аннотация:** В статье основное внимание уделяется анализу взаимодействия электропривода тележки и груза мостового крана. Рассматривается влияние статических и динамических сил на движение тележки и груза, исследуются причины свободных колебаний груза. Представлена компьютерная модель для изучения взаимодействия груза и электропривода тележки.

**Abstract:** The article focuses on the analysis of the interaction between electric trolley and the cargo of the overhead crane. The influence of static and dynamic forces on the movement of the trolley and the cargo is examined, the reasons for the free fluctuations of the cargo are investigated. A computer model for studying the interaction of the cargo and the electric drive of the trolley is presented.

**Ключевые слова:** электропривод; моделирование; переходные процессы; мостовой кран; раскачка груза.

**Key words:** electrical drive; simulation; transient response; overhead crane; swinging of cargo.

**ВВЕДЕНИЕ**

Вопрос взаимодействия многомассового кранового механизма горизонтального перемещения и закрепленного на гибком подвесе груза на сегодняшний день является актуальным. При пуске и торможении механизмов передвижения и поворота крана возникают колебания подвешенного на канате груза. Самостоятельно эти колебания затухают очень медленно, поскольку сопротивление воздуха движению груза незначительно. Они негативно влияют на производительность и другие эксплуатационные показатели установки. Раскачивание груза является причиной неравномерного движения крана, дополнительных

нагрузок на элементы механизма, создает неудобства оператору при управлении краном. Оно особенно нежелательно при замедлении механизма, так как при этом затрудняется точная остановка для посадки груза. При автоматизации кранов раскачивание груза также проявляется отрицательно.

Крановые механизмы горизонтального и поступательного движения нестреловых кранов, характеризуются относительно продолжительными переходными режимами, которые и ограничивают производительность механизма. Именно поэтому

электромеханическую систему механизмов горизонтального перемещения различных кранов т.е. необходимо свести к минимуму время переходных процессов, возникающих на этапах разгона и торможения электропривода. Одновременно к концу разгона должно быть обеспечено успокоение груза, а к концу торможения - и вертикальное расположение каната во избежание его дальнейшего раскачивания. Поэтому задача состоит в том, чтобы создать такую электромеханическую систему автоматического управления, которая полностью реализует требуемый оптимальный закон управления в соответствии с выбранным критерием оптимальности и заданными ограничениями.

Таким образом, оптимизация исследуемой системы по быстродействию предполагает: разгон и торможение механизма передвижения до заданной скорости должен производиться за минимальное время при определенном поведении подвешенного груза. [1]

На рынке уже существуют решения этой проблемы, но производители не раскрывают своих способов управления приводом. В представленной статье поставлена задача разработки математической модели электропривода тележки мостового крана, позволяющей определить законы управления электроприводом, обеспечивающие демпфирование колебаний груза.

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОСТОВЫХ КРАНАХ

Подъемный кран представляет собой грузоподъемную машину, которая работает с повторяющимися циклами и предназначена для подъема и перемещения на небольшие расстояния грузов, удерживаемых грузозахватными устройствами.

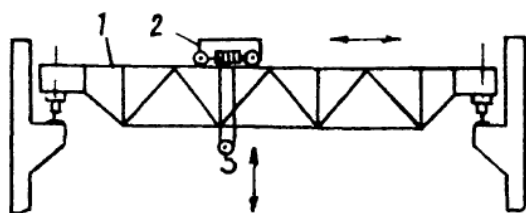


Рис. 1. Мостовой кран

Кран содержит мост- 1 и тележку- 2.

На рисунке 2 приведена кинематическая схема механизма тележки. Она состоит из двигателя 1, установленного на раме тележки 2, тормоза 3 и вертикального редуктора 4, выходной вал которого через муфту 5 сообщает движение ведущим ходовым колесам 6, перемещающимся по рельсовому пути [2].

с подвешенным грузом следует оптимизировать по критерию быстродействия, Основными крановыми механизмами являются:

1. Механизм подъема, осуществляющий вертикальное перемещение груза;
2. Механизм передвижения, который обеспечивает поступательное перемещение груза в горизонтальной плоскости путем передвижения крана или отдельных его частей, например, тележки.

Момент сопротивления тележки с приводными колесами определяется силами, обусловленными трением в ее ходовых частях  $F_{с.тр}$ , а также силами от ветровой нагрузки  $F_B$  и от уклона рельсовых путей  $F_y$ . В соответствии со сказанным результирующая сила сопротивления передвижению выражается в виде:

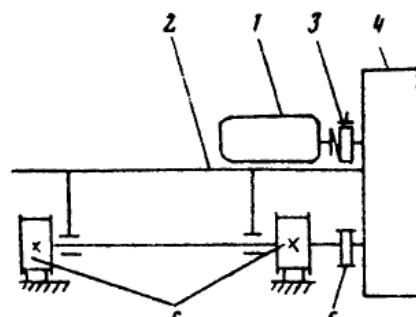


Рис. 2. Кинематическая схема тележки

$$F_c = F_{с.тр} \pm F_y \pm F_B \quad (1)$$

Перед  $F_y$  знак "+" берется при движении тележки на подъем, знак "-" при ее спуске под уклон; перед  $F_B$  знак "+" берется при движении против ветра, "-" при движении по ветру.

Если тележка движется по горизонтальному пути при отсутствии ветровых нагрузок, то сопротивление передвижению будет определяться только трением в ходовых колесах и включает в себя трение скольжения в подшипниках, трение качения колес по рельсам и трение на торцевых поверхностях колес.

При разгоне и торможении механизма горизонтального передвижения возникают колебания груза относительно своего положения равновесия. Груз и канат, прикрепленный к тележке, образуют маятник с подвижной точкой подвеса, которая закреплена на движущейся тележке. Путем перемещения точки подвеса этого маятника можно управлять его колебаниями с помощью электропривода механизма передвижения. Для ограничения времени и амплитуды маятниковых колебаний груза используют ручные и автоматические способы. [2]

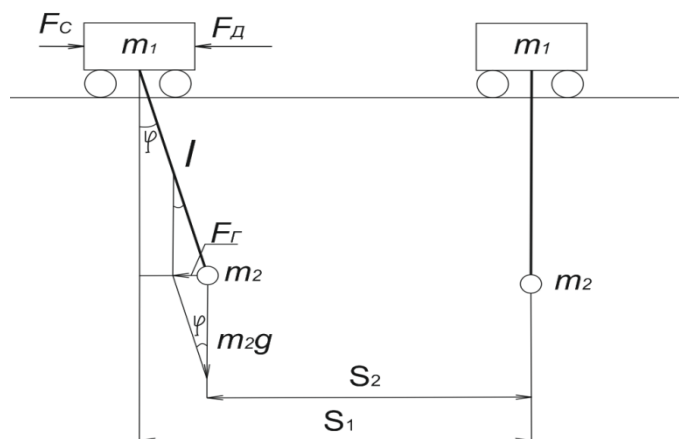


Рис. 3. Расчетная схема механизма поступательного перемещения

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТЕЛЕЖКИ И ГРУЗА

Пуск происходит под действием приложенного непосредственно к тележке динамического усилия  $F$ , представляющего собой разность усилия (момента), создаваемого двигателем, и силы статического сопротивления (силы трения). Если известно значение силы сопротивления, то величина  $F$  определяет усилие (момент) двигателя. Здесь удобно все величины приводить к поступательному движению тележки, так как интересует положение подвешенного груза и реальный угол его отклонения от вертикали  $\varphi$ . Полагаем, что до начала разгона люфты в передачах выбраны, а нить нерастяжима, т.е. длина  $l$  не зависит от веса груза. Кроме того, все выкладки этой главы проводятся без учёта возможных дополнительных внешних воздействий — влияния ветровой нагрузки и т.п.

Пренебрегая потерями на деформацию нити, движение рассматриваемой системы можно описать известными дифференциальными уравнениями [3]:

$$\begin{cases} F_D - F_\Gamma = m_1 \frac{d^2 S_1}{dt^2}, \\ F_\Gamma = m_2 \frac{d^2 S_2}{dt^2}. \end{cases} \quad (2)$$

$$F_\Gamma = \tan \varphi \cdot m_2 \cdot g, \quad (3)$$

$$F_D = \frac{M_D \cdot \eta \cdot i}{\rho}, \quad (4)$$

где:  $M_D$  - момент двигателя;  
 $\rho$  - радиус приведения момента на выходном валу редуктора к приводному колесу тележки.

$\eta$  - КПД механизма;

$m_2$  - масса груза;

$i$  - передаточное число редуктора.

Отклонение груза от вертикали характеризуется углом  $\varphi$ . При реальных малых углах отклонения (5-10 град.) с достаточно высокой степенью точности можно считать  $\sin \varphi \approx \varphi$ , тогда

$$\sin \varphi = \frac{S_1 - S_2}{l} = \frac{\Delta S}{l}, \quad (5)$$

При малых углах  $\sin \varphi = \tan \varphi$

$$F_\Gamma = m_2 g \frac{S_1 - S_2}{l}. \quad (6)$$

где горизонтальная составляющая от силы веса груза  $F_\Gamma$  эквивалентна усилию упругой линейной деформации.

На основе формул (2)...(6) в среде Matlab/Simulink составляется имитационная компьютерная модель системы «тележка – груз», представленная на Рис.4. Расчет будет производиться в абсолютных единицах системы СИ. Очевидно, данная модель дополняется моделью электропривода заданного типа, формирующей силу тяги  $F_D$  по выражению (4).

Диаграммы на Рис. 5. – Рис. 7. иллюстрируют процессы в рассматриваемой системе при характерных воздействиях со стороны электропривода, выполненного на базе асинхронного электродвигателя.

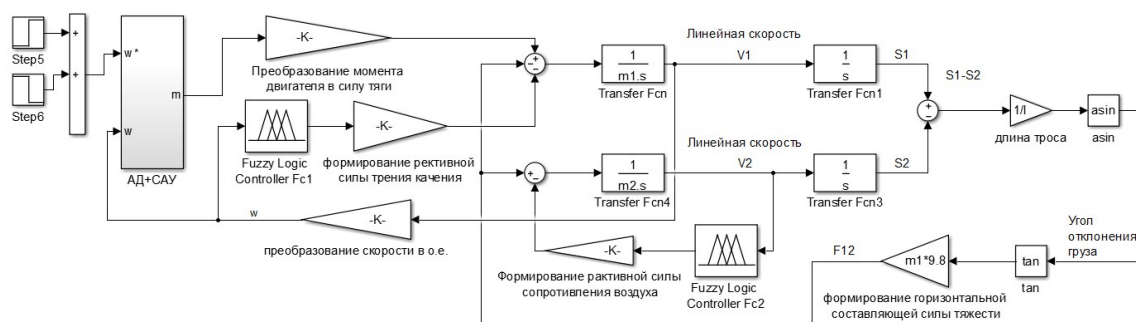


Рис. 4. Структурная схема математической модели системы «тележка – груз»

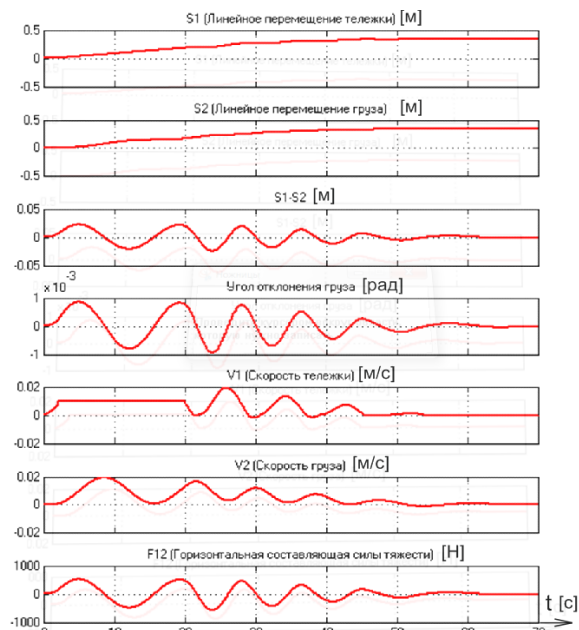


Рис. 5. Движение тележки и груза при длительном воздействии силы тяги

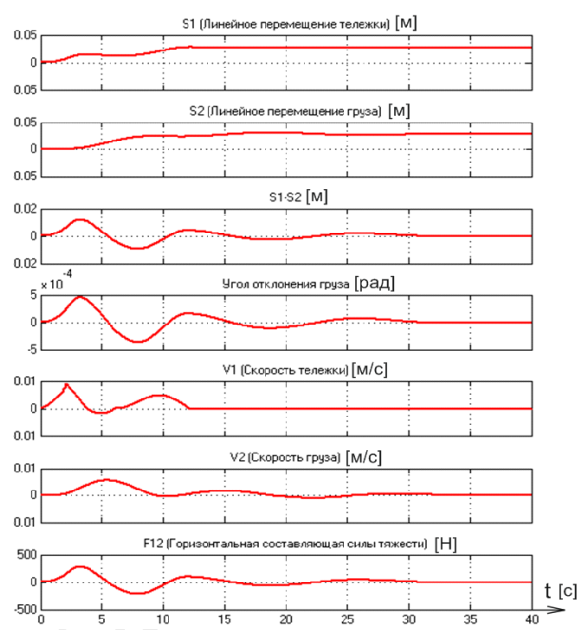


Рис. 7. Движение тележки и груза при кратковременном воздействии силы тяги

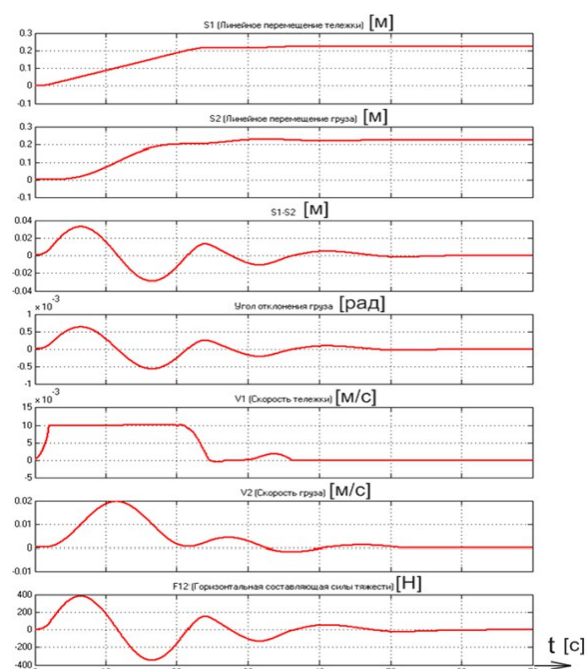


Рис. 6. Движение тележки и груза при длительном воздействии силы тяги и увеличенной длине троса в 2 раза

Из диаграмм на Рис. 5. – Рис. 7. видно, что процессы в модели отображают физические свойства системы, а именно:

- проявляется характерная колебательность системы;
- колебания груза затухают под воздействием демпфирующих свойств двигателя;
- при увеличении длины троса в 2 раза уменьшается угол отклонения в 2 раза по формуле (15).

Очевидно, предложенная модель может быть использована для поиска решений по автоматическому демпфированию колебаний груза при его горизонтальном перемещении.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасимyak Р.П., Лещев В.А. Анализ и синтез крановых механических систем. Одесса, СМИЛ, 2008. 192 с.
2. Масандилов Л.Б. Электропривод подъемных кранов. М.: Изд-во МЭИ, 1998. 100 с.
3. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин. М.: Машгиз, 1962. 268 с.